

ゲルのせん断変形を用いた タッチパネルにおける水平方向力入力（第2報） —既存の垂直抗力測定手法との比較—

中井 優理子[†] 工藤 慎也[†] 岡崎 龍太[†] 梶本 裕之^{†‡} 栗林 英範[§]

[†]電気通信大学 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

[‡] 科学技術振興機構 さきがけ 〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8 川口センタービル

[§] 株式会社ニコン 映像カンパニー 〒140-8601 東京都品川区西大井 1-6-3

E-mail: [†] {yuriko, kudo, okazaki, kajimoto}@kaji-lab.jp, [§] Hidenori.Kuribayashi@nikon.com

あらまし 現在多くのタッチパネルは静電容量方式で入力検出をしており、指の座標検出や接触面積計測が可能である。一方で、指の力に関しては垂直方向成分のみ接触面積の変化による推定が実現されている。そこで本研究ではゲル層を設けるだけの簡易な手法で水平方向の力を推定し、タッチパネルへの水平方向の力入力を実現する。具体的にはゲルの水平方向のバネ定数と指の座標変化の情報から、水平方向の力を得る。本稿では現行の指接触面積変化による垂直方向力入力と本提案手法による水平方向力入力の精度を比較することで本提案手法の実用性を示すとともに、ゲル層を設けた場合での指接触面積変化による垂直方向力入力の精度も確認した。提案手法により実現される水平方向の力入力は、非電源かつ簡易な実装で画面全体のジョイスティック化や画面内のやわらかい物体のよりリアルな造形などへ応用可能である。

キーワード ゲル, せん断変形, 水平方向入力, タッチパネル

Tangential Force Input to Touch Panel with Shear Deformation of Gel Layer (II) — Comparison with the existing vertical force measurement method —

Yuriko NAKAI[†] Shinya KUDO[†] Ryuta OKAZAKI[†] Hiroyuki KAJIMOTO^{†‡}
Hidenori KURIBAYASHI[‡]

[†] The University of Electro-Communications 1-5-1 Chofu-ga-oka, Chofu, Tokyo, 182-8585 Japan

[‡] Japan Science and Technology Agency 4-1-8 Honcho, Kawaguchi-shi, Saitama 332-0012 Japan

[§] Imaging Company, Nikon Corporation 6-3 Nishioi 1-chome, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-8601 Japan

E-mail: [†] {yuriko, kudo, okazaki, kajimoto}@kaji-lab.jp, [§] Hidenori.Kuribayashi@nikon.com

Abstract Many capacitive touch panels detect the position and contact area of the user finger, and can estimate the vertical force from the change in the contact area. However, they cannot estimate the tangential force. This research aims to enable the estimation of tangential force using a gel layer, which deforms when a tangential force is applied. By measuring the finger motion of the user, we can estimate tangential force from the gel spring ratio. In this report, we compared the accuracy of the measurement of the tangential force using the displacement of the finger with that of the vertical force using the change in the contact area. We also confirmed the latter in the case that we use the gel layer. Using this input method, any part of the touch panel surface becomes a joystick, or virtual objects can be modeled by deforming them with the fingers.

Keyword gel, shear force, tangential input, touch panel

1. はじめに

現在普及しているスマートフォンやタブレット型コンピュータ等タッチ入力機能を有するモバイル端末では主に静電容量方式の入力方式が採用されており、入力時の指の座標検出や接触面積測定が可能である。しかし現在のところ、タッチパネルが推定できる力は垂直方向成分のみである。

そこで我々は、タッチパネル上にゲル層を用いるだけの非電源かつ簡易な実装で力の水平方向成分を推定することを提案してきた[1]。

本報告では、現在実用的に利用されている接触面積の測定による垂直方向力入力と本手法を精度の面で比較することにより、本提案手法の実用性を検証する。さらにゲル層を設けた場合の接触面積測定による垂直方向力入力の精度を確認する実験結果についても報告する。

2. 関連研究

三軸方向の力分布計測はロボティクス分野を中心として長い歴史を持つが[1]、ここではタッチパネル等のサーフェス型インタフェースとしての応用を念頭に置いた研究を示す。平面に加わる力の位置と方向は、一点であればその平面に取り付けた6軸力センサによって算出することができる。下条らはこの方法を用い、視覚障がい者用の点図ディスプレイを一種の入力デバイスとしている[3]。また Harrison らはディスプレイとタッチパネルの間にジョイスティックを設けることで水平方向の力の入力が可能タッチパネルを開発した[4]。しかしこの手法ではタッチパネルのサイズ(厚み)が大きくなる、マルチタッチへの対応が困難といった問題がある。

Vlack らの GelForce は透明な弾性体に埋め込まれた2色のマーカ群の水平変位をカメラで計測し、カベクトル分布の逆算を行っている[5]。渡部らは同手法を利用し携帯型タッチパネル端末用入力デバイスを提案した[6]。笥らの ForceTile はマーカ群が埋め込まれた弾性体をテーブルトップインタフェース上で利用する方法を提案している[7]。坂本らの WrinkleSurface はタッチパネルに貼りつけた柔らかい透明なゲルシートのしわの形状からプッシュ、スラスト、ツイストといった力入力を実現している[8]。以上のように従来研究において三軸方向の力分布計測をタッチパネル上のインタフェースとして実現する提案はカメラを用いた実装例が多く、ポータブルデバイスへの採用は難しいと考えられる。これに対して本研究ではマーカやカメラを用いることなく、現行のタッチパネルの機能のみを用いた手法を提案する。

Heo らは水平方向に指の力を加えた際の指の変形と

指が移動する速度を利用した簡便な水平方向力入力を提案している[9]。ただしこの手法ではユーザが入力ごとに指の速度を調整する必要があるという問題が考えられる。我々は Heo らが利用した指の速度の代わりに、タッチパネル表面に設けたゲル層の弾性を利用することでこの問題を解決する。

3. 提案手法

我々は既存のタッチパネルの機能の変更や追加をすることなく、タッチパネルへの水平方向の力入力を実現する手法を提案する。図1に基本的な構造を示す。

ハードコート層、ソフトゲル層の順に積層された構造をとり、ハードコート層は厚さ0.15mmのポリ塩化ビニルシート(Digio2, ナカバヤシ製)、ソフトゲル層は約1.5mmのシリコーンゲル(KE-1052(A/B), 信越シリコーン製)を使用した。

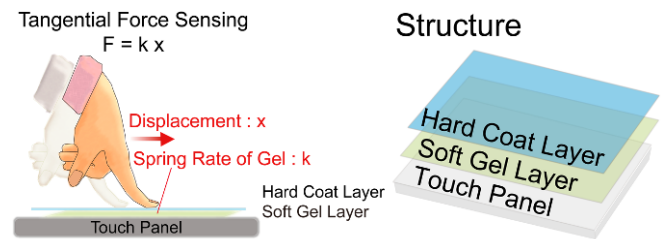


図1 提案するタッチパネルの構造および水平方向の力入力手法

ハードコート層は表面保護、粘着防止の役割を果たすと共に表面からの力入力を下のソフトゲル層に伝えるだけの柔軟性を保持している。またソフトゲル層はその剛性率が $4.9 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ と小さく、ハードコート層の上から水平方向の力入力によって簡単に変形を受ける。我々の試作では通常の指の力で水平方向に数mmないし1cm程度の大変位を生じることが明らかとなった。図2にゲルのせん断変形の様子を示す(図中の緑色の線はゲル断面にマーキングしたもの)。

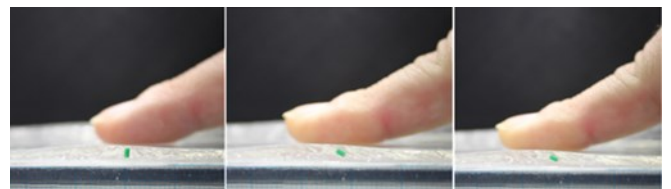


図2 ゲルのせん断変形の様子

一方、垂直方向の力に対してはソフトゲル層の非圧縮性の特性により、ソフトゲル層はその柔軟性にもかかわらず上下方向への変位を大きく生じることはない(ポアソン比0.5に近い非圧縮性の素材であるため圧縮性の変形を生じにくい)。さらに上にハードコート層を設けていることで、WrinkleSurface[8]で利用されて

いたような表面のしわが生じにくく、変形の逃げ場のない、上下の変位を生じにくい状況となっている。

つまり本構造は、垂直方向には比較的固く、水平方向には大変位を許す弾性の異方性を強く持っている。ここでタッチパネルの接触位置検出機能を用いると、水平方向の変位はフックの法則 ($F = kx$) により水平方向の力を意味している(図 1)。

4. 評価

4.1. 実験 1: 水平方向の力検出

提案した水平方向の力ベクトルの推定手法の評価を行った。静電容量式のタッチパネルを備えたスマートフォン (GT-I9300, SAMSUNG 製) を三軸力センサ (DSA-03A, テック技販製, 以下力センサと表記) に載せ、実際に指で力入力を行った (図 3)。指以外を用いて正確な力を加える事も考えられたが、本手法はタッチパネルの位置検出機能を利用することが特徴の一つであるためあえて実際の指を用いた。

押し込み動作を行っていることを前提として、水平方向の力計測の精度を検証した。研究室内の 3 名 (男性 3 名, 21 歳~23 歳, 平均 22 歳) をユーザとして実験を行った。ユーザが押しこみ動作をしている際の水平方向への座標変化をタッチパネルで取得すると同時に力センサで力の水平方向成分を取得した。今回はユーザには「滑らない範囲でなるべく水平方向の力成分が強くなる」ように力を加えるよう教示した。ユーザにはコンソール画面に出力される指の力 (単位: g) を確認しながら利き手人差し指で 100g から 500g まで徐々に強く押しこんでいく試行を前後左右四方向に行うよう指示し, 100g 毎の指の変位量を記録した。また接触位置が力の計測値に影響を与えることを防ぐためユーザにはタッチパネルの画面に表示させた黄色い円を起点とし力を加えさせた。力の条件を 100g から 500g の範囲とし, 方向 4 条件, 繰り返し回数 3 回として, 1 ユーザあたり 12 回の実験を行った。

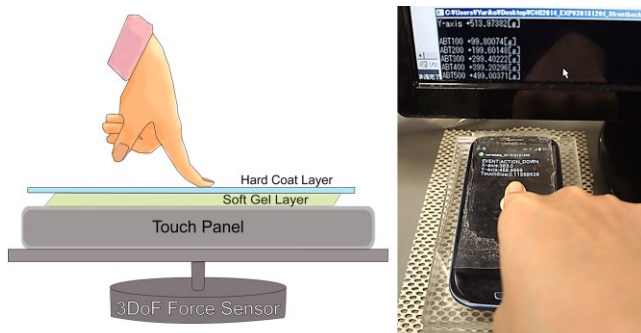


図 3 水平方向の力検出の様子

実験結果を図 4 から図 7 に示す。図 4 は前方, 図 5 は後方, 図 6 は右方, 図 7 は左方に力を加えた場合の

結果である。3 名の被験者の 3 回の結果を示している (被験者ごとにグラフの色を分けた)。この結果により今回のセットアップでは水平方向の力とピクセルの移動量には単調増加関係が有ることがわかった。

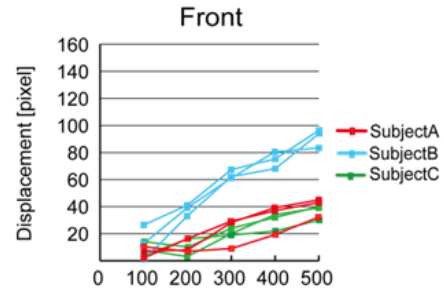


図 4 3 軸力センサによる水平前方向の力データと指の変位量の比較

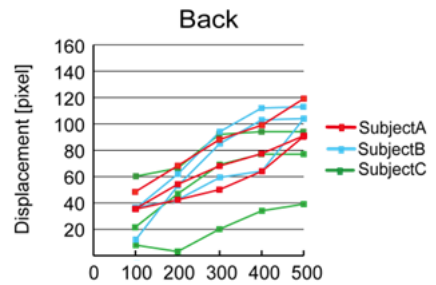


図 5 3 軸力センサによる水平後ろ方向の力データと指の変位量の比較

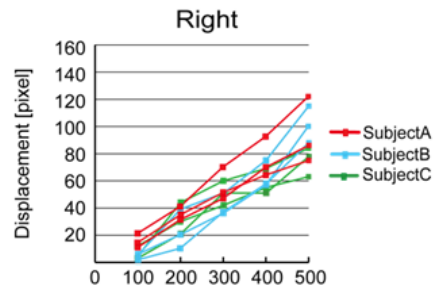


図 6 3 軸力センサによる水平右方向の力データと指の変位量の比較

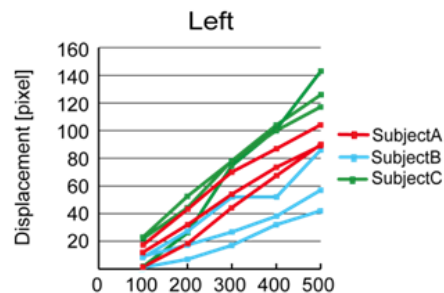


図 7 3 軸力センサによる水平左方向の力データと指の変位量の比較

4.2. 実験 2: 垂直方向の力検出と接触面積の比較

提案手法による水平方向の力入力の実用的な精度を持つか否かを検証するため、我々は本提案手法による水平方向力入力の精度と、現在すでに実用的に使用されている接触面積変化による垂直方向力入力の精度と比較した。水平方向力入力が垂直方向力入力と同等かそれ以上の精度を持てば本提案手法は実用的であると言えると考えたためである。

実験は実験 1 と同じ被験者で行い、コンソール画面に出力される指の力 (単位: g) を確認しながら利き手人差し指で 100g から 500g まで徐々に強く押しこんでいく試行を垂直方向に行うよう指示し、100g 毎の指の変位量を記録した。この試行は 1 人あたり 3 回行い、垂直方向の力と接触面積の変化の同時刻でのデータを取得した。実験結果を図 8 に示す。

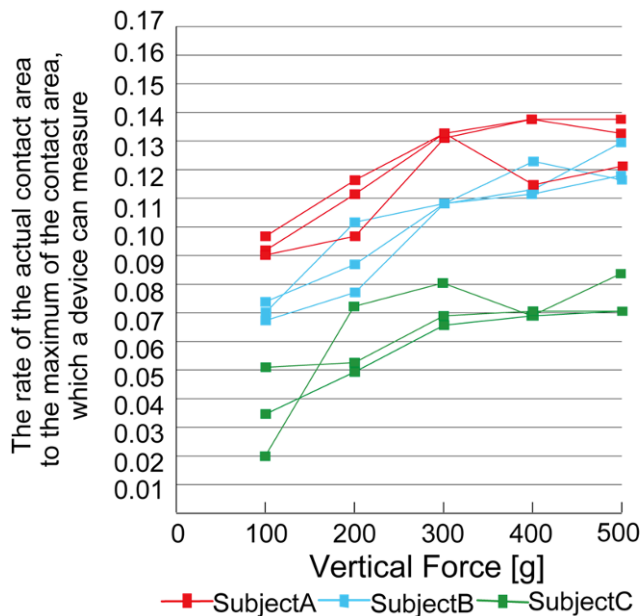


図 8 3 軸力センサによる垂直方向の力と指の接触面積の比較

この結果から、垂直方向の力と接触面積の間にも単調増加関係があることが示された。またこの結果から実験 1 と同様に被験者間に大きな差があることがわかった。したがって、提案手法における水平方向の力入力が現行の接触面積の変化による垂直方向への力入力と同等程度の精度を持つと言える。

4.3. 実験 3: ゲル層を設けた場合での

垂直方向の力検出と接触面積の比較

4.2 節の実験 2 では現在すでに実用的に使用されている、(ゲルを使用しない) 接触面積の変化による垂直方向力入力の精度を確認した。次に提案手法のゲル層を設けた場合の接触面積変化による垂直方向力入力の

精度を確認する。約 1.5mm のゲル層のシートを用い、垂直方向の力と接触面積の関係を比較した。被験者は 4.2 節までの A,B である。4.2 節と同様にコンソール画面に出力される指の力 (単位: g) を確認しながら利き手人差し指で 100g から 500g まで徐々に強く押しこんでいく試行を垂直方向に行うよう指示し、100g 毎の指の変位量を記録した。この試行は 1 人あたり 3 回行い、垂直方向の力と接触面積の同時刻のデータを取得した。実験結果を図 9 に示す。

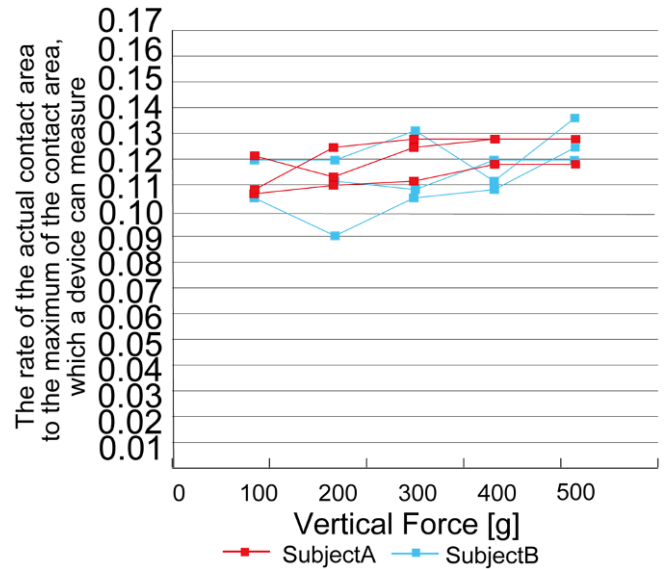


図 9 ゲル層を設けた場合での 3 軸力センサによる垂直方向の力と指の接触面積の比較

上記の結果より、1.5mm 厚のゲルを設けて垂直方向の力入力を行った場合、タッチセンシングの精度低下によりタッチパネルが反応しない場が生じることが明らかとなった。我々はこの原因を、指とタッチパネルの間にゲルの厚み分の距離が開いたためであると考えている。タッチパネルのタッチ検出域がタッチパネルから約 1.5mm (ゲルの厚み) までであり、水平方向の力入力ではゲルがせん断変形することでわずかにゲル層の厚みが薄くなり指を検出できたが、垂直方向では変形しにくい指とタッチパネルの間の距離が縮まらず検出が不安定になったのではないかと考えた。そのため今後は既存の垂直方向の力入力の機能を失わずに水平方向の力入力も可能になるようゲル層の厚みの調整などを行う必要があると考える。

5. アプリケーション

これまでに実現した水平方向の力入力を活かしたアプリケーション例を紹介する。

5.1. Gel Drive

ハンドル操作を行うアプリケーションである。本提案手法では画面全体にゲルを貼って実装しているため、画面の任意の位置にハンドルを設けることができる。

指の座標の情報のみを用いてハンドル操作をする場合と比較し、本アプリケーションでは指の水平方向の力の情報を使用できるため、ある程度力を込めた場合にのみハンドルが動く等の映像提示によりハンドルの重たさを表現することも可能である。またゲルの復元力によりユーザは意識的に指の位置を確認することなく指をホームポジションに戻すことができる(図 10)。

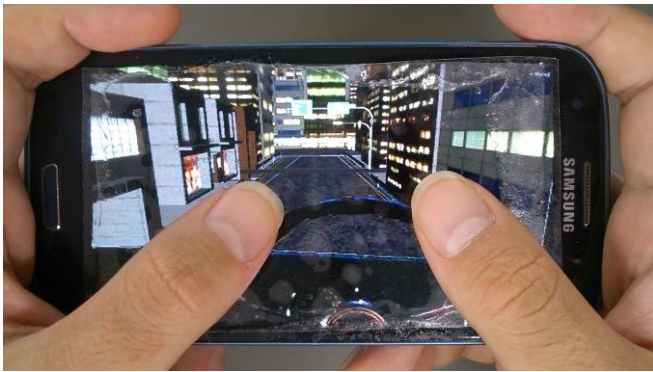


図 10 Gel Drive を使用している様子

5.2. Clay Fun

水平方向の力入力を用いることで、画面内のやわらかい物体に力調整をしながらの造形を実現するアプリケーションである。今回は画面内の粘土を見本の形状に近づけるゲームを作成した(図 11)。

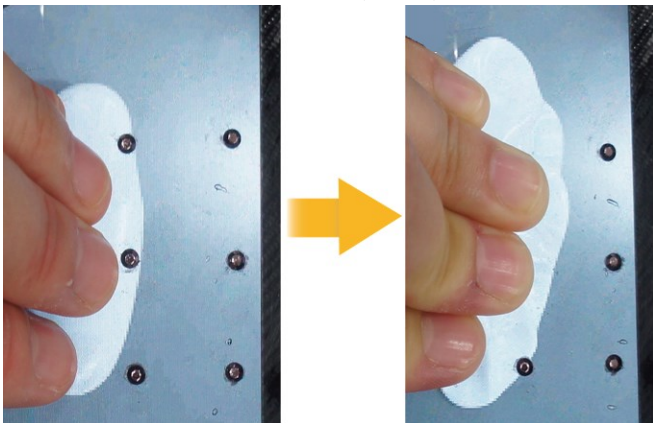


図 11 Clay Fun を使用している様子

6. まとめ

本研究ではゲル層を設けるだけの非電源かつ簡易な実装でタッチパネルへの水平方向の力入力を実現する手法を提案し、その実用性を評価した。またゲル層を設けた場合での垂直方向の接触面積の変化による垂直方向の力入力の精度も確認した。実験から、指とタ

ッチパネルの間にゲルの厚み分の距離が開いたため、タッチセンシングの精度が低下し、垂直方向の力検出が困難になったと考察ができた。

今後は既存の手法の可能性を損なわずに水平方向の力入力を実現できるよう、ゲル層の厚み調整などの実装を改良するとともに、本研究で提案した手法をより活かすことのできるアプリケーションを開発する。

文 献

- [1] 中井優理子, 工藤慎也, 岡崎龍太, 梶本裕之, 栗林英範, “ゲルのせん断変形を用いたタッチパネルにおける水平方向力入力,” インタラクシオン2014(第17回一般社団法人情報処理学会シンポジウム), Feb.2014.
- [2] Ohka, M., Kobayashi, H., Takata, J. and Mitsuya, Y., “Sensing Precision of an Optical Three-axis Tactile Sensor for a Robotic Finger,” Roman 2006-The 15th IEEE Inter. Symp. on Robot and Human Interactive Communication, pp.214-219, Hatfield, UK, Sept.2006.
- [3] Shimojo, M., Shinohara, M., Tanii, M. and Shimizu, Y., “Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Science,” Vol.3118, pp. 753-760, 2004.
- [4] Harrison, C. and Hudson, S., “Using Shear as a Supplemental Two-Dimensional Input Channel for Rich Touchscreen Interaction,” CHI '12 Proc. SIGCHI Conf. on Human Fact. in Comp. Syst, pp.3149-3152, Texas, USA, May.2004.
- [5] Vlack, K., Mizota, T., Kawakami, N., Kamiyama, K., Kajimoto, H. and Tachi, S., “GelForce: A Vision-based Traction Field Computer Interface,” CHI EA '05 CHI '05 Extended Abstracts on Human Fact. in Comp. Syst, pp.1154-1155, Oregon, USA, Apr.2005.
- [6] Sato, K., Watanabe, Y., Makino, Y. and Maeno, T., “Vision-based Force Sensor for Touch Panel Devices using Built-in Camera,” SCIS-ISIS, pp.852-855, Nov. 2012.
- [7] Kakehi, Y., Kensei, J., Sato, K. and Minamizawa, K., “ForceTile: Tabletop Tangible Interface with Vision-based Force Distribution Sensing,” SIGGRAPH '08 ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos LA, USA, Aug.2008.
- [8] 坂本侑一郎, 吉川拓人, 大江龍人, 志築文太郎, 福本雅朗, 田中二郎, “WrinkleSurface: しわを作って入力できる柔らかいマルチタッチインタフェース,” the 19th Workshop on Interactive Systems and Software, WISS 2011, pp.7-12, Dec.2011.
- [9] Heo, S. and Lee, G., “Indirect Shear Force Estimation for Multi-Point Shear Force Operations,” CHI '13 Proc. SIGCHI Conf. on Human Fact. in Comp. Syst., pp.281-284, Paris, France, 2013.